

Turku AMK

Energia- ja ympäristötekniikka

2020

Kalle Sonkkila

PAINEILMANTUOTANNON OPTIMOINTI

– Naantalin voimalaitos

OPINNÄYTETYÖ AMK | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Energia- ja ympäristötekniikka

2020 | 44 sivua

Kalle Sonkkila

PAINEILMATUOTANNON OPTIMOINTI

– Naantalin voimalaitos

Opinnäytetyö tehtiin Naantalin voimalaitokselle Turku Energia Oy:n toimeksiantona. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia Naantalin TSE voimalaitoksen paineilmajärjestelmän toimintaa. Paineilmaverkko kattaa koko laitosalueen, sillä paineilma on elintärkeä resurssi laitosten tuotannon kannalta. Paineilman tuottamisen keskiössä ovat kompressorit, jotka ovat energiatekniseltä hyötysuhteeltaan yleisesti huonoja. Paineilmajärjestelmän tutkiminen ja kehittäminen on tullut ajankohtaiseksi kasvavalla laitosalueella. Kompressorien energiankulutusta säätävillä toimenpiteillä voidaan saada aikaan suuria taloudellisia säästöjä.

Opinnäytetyössä perehdytään Naantalin voimalaitoksen paineilmajärjestelmän ajojärjestelyihin aikaisemman ajohistorian perusteella. Työssä tarkastellaan käyttö- ja kevennystunteja, joiden pohjalta arvioidaan energiantarvetta vuositasolla. Energia-arvioon liitetään kiinteät huoltokulut, jolloin saadaan muodostettua vuosikustannusarvio. Kulut arvioidaan yksilöidysti jokaisesta paineilmakompressorista. Järjestelmästä etsittiin mahdollisia ajankohtia, joista aiheutuu hukkakuluja. Tämä tehtiin vertailemalla tuotannon määrää NA3-laitosyksikön käyntiaikaan. Työssä tehdään selvitys taloudellisesta kulusta, jota tuotanto aiheuttaa pitkällä aikavälillä.

Työn tuloksena muodostuu suuntaa-antava arviolaskelma laitoksen paineilman tuottamisesta ja kulutuksesta. Suoritettu laskelma edesauttaa järjestelmän kehittämistä tulevaisuudessa energiatehokkaammaksi ja taloudellisemmaksi.

ASIASANAT:

voimalaitos, paineilma, kompressorit, energiatehokkuus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Energy and Environmental Technology

2020 | 44 pages

Kalle Sonkkila

OPTIMIZING THE PRODUCTION OF COMPRESSED AIR

– Naantali power plant

This thesis was by commission of Turku Energia Oy for the Naantali power plant. The purpose of this thesis was to examine the functioning of the pneumatic system at the Naantali TSE power plant. The compressed air supply line covers the entire plant grounds as compressed air is an essential resource for all production at the power plant. At the center of the compressed air production are compressors which very often have poor energy efficiency. The examination and development of the pneumatic system has become topical of recent due to the fact that the power plant area is constantly growing. Taking actions on adjusting the energy consumption of the compressors can create significant economical savings.

This thesis is centered around the running regulations of the pneumatic system at the Naantali power plant based on earlier operation history. In this work, the operational and lightened operation hours of the compressors were reviewed. This was done to estimate the energy demand of each compressor on an annual basis. The permanent costs of the annual service were added to the annual energy demand estimate. This showed an estimate of the actual annual costs. The costs were estimated individually for each compressor. By comparing the operational hours of each compressor to the running time of the NA3-unit, it was found that there were times when the costs were running although the compressors should not have been using resources. This type of mistimed running causes unnecessary costs continuously. In this thesis, a report on those long-term additional costs at the Naantali power plant are presented.

The result of this thesis is an approximate calculation of the production and consumption of compressed air at the Naantali power plant. The estimated calculation helps to develop the whole system to a more energy efficient direction and to be more cost-efficient in the future.

KEYWORDS:

power plant, compressed air, compressor, energy efficiency

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	8
2 VOIMALAITOSYKSIKÖT JA PAINEILMA	10
2.1 Tuotannon optimointi	11
2.2 Laitoksen omistus ja hallinto	12
3 PAINEILMA JA TUOTTAMINEN	14
3.1 Ideaalikaasu	14
3.2 Paine	15
3.3 Tilavuus	15
3.4 Vahvuudet ja heikkoudet	15
4 PAINEILMAN TUOTANTOTEKNIikka	17
4.1 Puristustekniikka - ruuvikompressori	17
4.2 Jälkikäsittelylaitteisto	19
4.3 Sähkömoottori	20
4.4 Sähköenergian kulutus	21
4.5 Paineilman laatu	23
4.6 Voimalaitoksen infojärjestelmä	24
5 PAINEILMAN TUOTANTO JA SEN KUSTANNUKSET	25
5.1 Rikinpoistolaitoksen paineilmakeskus	27
5.2 Laitosten NA1-3 paineilmakeskus	29
5.3 Monipolttolaitoksen paineilmakeskus	34
5.4 Kompressorien käynnin vertailu NA3-laitoksen käyntiin	36
6 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	45

KAAVAT

Kaava 1. Ideaalikaasun tilanyhtälö.	14
Kaava 2. Tilanyhtälö.	14
Kaava 3. Paine matemaattisesti.	15
Kaava 4. Tilanyhtälö.	15
Kaava 5. Kolmivaihevirta.	22

KUVAT

Kuva 1. Naantalin voimalaitos. (Turun seudun energiantuotanto Oy, 2020a.)	10
Kuva 2. Suoratoiminen ruuviyksikkö. (Ellman, A. ym. 2002, s.44)	18
Kuva 3. Malli adsorptiokuivaimesta. (Atlas Copco Oy 2020.)	19
Kuva 4. Paineilman jäännöspitoisuudet. (Sarlin Oy 2020a. Paineilman laatu ISO 8573-1:2010 standardin mukaan.)	24
Kuva 5. Paineilmajärjestelmäkaavio voimalaitoksen infojärjestelmästä.	26
Kuva 6. ZR160-monitori.	32
Kuva 7. NA4-laitoksen järjestelmäkaavio voimalaitoksen infojärjestelmästä.	36

KUVIOT

Kuvio 1. Kompressorin 1 GA90:n ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.	38
Kuvio 2. Kompressorin 2 GA90:n ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.	39
Kuvio 3. Kompressorin GA160 ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.	40
Kuvio 4. Kompressorin ZR145 ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.	40

TAULUKOT

Taulukko 1. Paineilmakompressorit ja niiden sijainti.	25
Taulukko 2. Kompressorin 1 GA90 yhteenveto.	28
Taulukko 3. Kompressorin 1 GA90 kustannukset.	28
Taulukko 4. Kompressorin 2 GA90 yhteenveto.	28
Taulukko 5. Kompressorin 2 GA90 kustannukset.	29
Taulukko 6. Kompressorin GA160 yhteenveto.	30
Taulukko 7. Kompressorin GA160 kustannukset.	30
Taulukko 8. Kompressorin ZR145 yhteenveto.	31
Taulukko 9. Kompressorin ZR145 kustannukset.	32
Taulukko 10. Kompressorin ZR160 yhteenveto.	33
Taulukko 11. Kompressorin ZR160 kustannukset.	33
Taulukko 12. Frecon 250P mittausdata.	34
Taulukko 13. Frecon 250P 2 kustannukset.	35
Taulukko 14. Kustannusten yhteenveto.	42

Taulukko 15. Kuutiohinnan yhteenveto.

43

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

NA1-3	Naantalin vanhat laitousyksiköt 1-3
NA4	Naantalin CHP-laitos (monipolttolaitos)
TE	Turku Energia
TSE	Turun Seudun Energia
Kompressori	Paineilman tuotantokone, joka puristaa ilmaa pienempään tilavuuteen.
VSD	Taajuusmuuttaja (Variable Speed Drive)
Paineilmakeskus	Tila, johon on keskitetty paineilmantuotannon päälaitteet

1 JOHDANTO

Teollisuuden paineilmantuotanto on yksi suurimmista energiankuluttajista yksittäisinä tuotannon osina. Paineilmakompressorin kuluttaman suuren energiamäärän vuoksi niiden energiatehokkuusratkaisut ovat nousseet monen tuotantolaitoksen investointikohteeksi. Opinnäytetyössä perehdytään Naantalin voimalaitoksen paineilmajärjestelmän ajojärjestelyihin aikaisemman ajohistorian perusteella.

Naantalin voimalaitos on sähköä, kaukolämpöä ja höyryä tuottava voimalaitos Naantalin satamassa, ja sen omistaa Turun Seudun Energiantuotanto Oy. Voimalaitos on Varsinais-Suomen suurin lämmöntuotannon yksikkö. Turun Seudun Energiatuotanto Oy on tehnyt sopimuksen laitosten operoinnista Turku Energia Oy:n kanssa. Opinnäytetyö on suoritettu Naantalin voimalaitokselle Turku Energia Oy:n toimeksiantona.

Naantalin voimalaitos on jatkuvasti kehittyvä ja muuttuva voimalaitosyksikkö. Nykyisten vaatimusten ja energiakustannusten vuoksi laitoksen on uusiuduttava energiatehokkaammaksi. Vanhat laitosisyköt ovat rakennettu Imatran Voiman toimesta 1960-luvulla ja ovat näin ollen pääteknikaltaan vanhaa. Vanha tekniikka ei ole energiatehokasta nykypäivän kriteereihin nähden.

Työssä tarkastellaan käyttö- ja kevennystunteja, joiden pohjalta arvioidaan energian tarvetta vuositasolla. Energia-arvioon liitetään kiinteät huoltokulut, mistä saadaan muodostettua vuosikustannusarvio. Kulut arvioidaan yksilöidysti jokaisesta paineilmakompressorista. Arvioita verrataan NA3-yksikön käyntiin, jotta voidaan arvioida paineilman kuluusta toiminnassa olevaan laitosisyköön.

Tavoitteena on tuottaa Naantalin voimalaitokselle ensimmäinen arvio nykyisestä vallitsevasta tilanteesta, jotta voidaan puuttua paineilmajärjestelmän ongelmakohtiin. Arvion muodostaminen on aluksi lähinnä selvitystyötä, joka kattaa kompressorikohtaisesta järjestelmästä näkyvien kuorma- ja kevennystuntien sekä kunkin kompressorien ohjemanuaaleista olennaisten tietojen keräämisen. Kompressoreiden tietojen yhteenvetoon on kerätty työn kannalta kaikki oleellinen tieto. Teknisestä ohjemanuaalista selvisi kunkin kompressorin tuotto ja sähkökulumäärä. Huoltokustannukset, kompressorin käyntiaika ja keskimääräinen käyntiprosentti selvisi voimalaitoksen oman infojärjestelmän kautta. Kerättyä dataa on hyödynnetty työn laskentavaiheessa. Keskimääräisellä

käyntiprosentilla on laskettu kompressoreiden energiakulu sekä tuotettu ilmamäärä valitulla ajanjaksolla.

Kerättyjen tietojen, kuten käyntituntien ja kustannusten, avulla lasketaan, meneekö taloudellisia resursseja hukkaan. Selvitystyössä paineilmantuotannon kulut tulevat selkeästi esille, joten laskelma tuotantokuluista esittää, onko paineilmantuotanto taloudellisesti tiellä. Laskelma todentaa ajojärjestelyn mahdolliset virheet, joihin voimalaitos voi puuttua. Korjaustoimenpiteet tuottavat pitkällä aikavälillä säästöä energiakuluihin ja talouteen.

Haasteita työhön tuo laajasti muuttunut laitosalue sekä paineilmajärjestelmän laajuus laitosalueella. Kasvanut laitosalue on muuttanut paineilman tarpeellisuutta käyttökohteissa. Uusi CHP-monipolttolaitos valmistui alueelle vuonna 2017, minkä jälkeen vanhat kivihiiliyksiköt ovat jääneet vähemmälle käytölle. Työssä pohditaan paineilman käyttötarpeellisuutta eri laitosyksiköissä.

2 VOIMALAITOSYKSIKÖT JA PAINEILMA

Naantalin voimalaitoksella on neljä laitosityksikköä, joista kolme on kivihiililaitoksia ja yksi CHP-monipolttolaitos. CHP-lyhenne muodostuu englanninkielestä sanoista Combined Heat and Power. Laitokset tunnetaan lyhennetyillä nimikkeillä NA1, NA2, NA3 ja NA4. CHP-monipolttolaitos (NA4) on laitoksista viimeisimpänä valmistunut vuonna 2017 ja käyttää polttoaineena biotavaran ja kivihiilen yhdistelmää. Vanhemmat yksiköt on rakentanut Imatran Voima 1960-luvulla, ja ne toimivat ainoastaan kivihiilellä. Opinnäytetyössä viitataan usein näihin nimikkeisiin sekä laitoksen vanhaan osaan.

Laitoksen vanha osa pitää sisällään kolme kattilalaitosta ja yhden turbiinisalin, joka on varustettu kolmella turbiinilla. Tämän lisäksi vanhalla laitoksella on merivesilaitos, vedenpuhdistamo sekä rikinpoistolaitos. Erityisesti rikinpoistolaitos on varsin kallis ylläpitää suuren paineilmankulutuksen vuoksi. Vanhalla laitoksella on kaksi paineilmakeskusta, jotka sijaitsevat turbiinisalin ylätasanteella ja rikinpoistolaitoksella. Molemmat paineilmakeskukset tuottavat paineilmaa samaan tuotantoverkkoon. Pääasiallisesti ilmaa ajetaan kuitenkin rikinpoistolaitokselle, koska rikinpoistolaitoksen omat koneet eivät kykene ylläpitämään tasaista painetta kulutuspiikin aikana. Laitoksen vanha osa on näkyvissä alla olevassa kuvassa keskellä hiilikentän vasemmalla puolella.



Kuva 1. Naantalin voimalaitos. (Turun seudun energiantuotanto Oy, 2020a.)

CHP-monipolttolaitos NA4 koostuu omasta kattila- ja turbiinilaitoksestaan sekä biotavaran vastaanottojärjestelmästä. Laitos on nähtävissä kuvassa 1 vasemmalla etualalla. NA4-laitoksella on oma paineilmakeskus, ja se tuottaa paineilmaa pääasiassa omaan käyttöönsä. Paineilmaverkko on yhdistetty vanhan laitoksen verkkoon, mutta ihannetilanteessa ilmaa ajetaan NA4-laitokselta vanhan laitoksen järjestelmään. Vanhalla laitoksella tuotettu paineilma on laadultaan huomattavasti huonompaa uudella CHP-laitoksella tuotettuun paineilmaan verrattuna. Vanhan laitoksen paineilmaverkosto on vanha, ja se sisältää epäpuhtauksia, joita ei haluta ajaa uuteen verkostoon. NA4-laitoksen kompressoreilla päästään myös keskimääräisesti matalampaan kastepisteeseen.

2.1 Tuotannon optimointi

Paineilman tuotannon optimointi tapahtuu keräämällä tietoa kaikkien laitossyksiköiden paineilmantuotannosta ja kulutuksesta. Opinnäytetyössä tehdään pääasiassa esiselvitystä optimointia varten, ja tietoja voidaan käyttää jatkossa kun puututaan ongelmakohtiin. Suurimpia kulutuskohteita on rikinpoistolaitoksen toimilaitteet kuten savukaasujen jälkilämmitin eli gavo, jonka nuohouksessa menee määrällisesti paljon paineilmaa. Yleisesti automaattisissa nuohoustoimenpiteissä käytetään paineilmaa, ja sitä kuluu huomattavasti yhdellä nuohous kerralla. Nuohouksen kuluttamaa määrää ei voida arvioida ilman antureiden ja mittarien asentamista järjestelmään. NA4-laitossyksikössä paineilmalla puhdistetaan pussisuodattimia. Polttoprosessissa syntyy huomattavasti kivihiilen tuhkaa, joka sisältää ympäristölle myrkyllisiä aineita, mutta tuhkaa on onnistuttu hyödyntämään kipsi ja betoniteollisuudessa, jonka vuoksi laitoksellakin on omaa kipsisiilo. Kipsisiilo valmistelee tuotetta kipsiteollisuutta varten ja kuluttaa ohessa paineilmaa. Laitossyksiköissä suuria kuluttavia laitteita ovat tuhkalähtetimet, jotka kuljettavat polttoprosessissa syntynyttä hienoa tuhkaa paineilman voimalla putkistoa pitkin eteenpäin. Lisäksi laitosalueella on laaja ilmaverkko, johon voidaan kytkeä käsikäyttöisiä työkaluja ja apulaitteita kun suoritetaan huoltoja. Paineilmalla toimivat työkalut ovat yleisesti vahvempia ja kestävämpiä kuin sähkö- tai akkukäyttöiset työkalut.

Optimointi on kompressoreiden yleisen hyötysuhteen parantamista taloudellisesti ja tuotuksellisesti. Työssä selvitetään kompressorien yksilöllisten kulujen ja tuoton määrää, josta voidaan arvioida, millä koneella on kannattavinta tuottaa paineilmaa. Työssä tehdään myös selvitystä, ajavatko kompressorit tehokkaalla ajalla eli samalla ajalla kuin laitosyksiköt ajavat ja tuottavat kaukolämpöä ja sähköä. Paineilman tuotannonmäärä

huomioidaan työssä keskiarvollisena laskentana, joka perustuu käyttötuntien määrään ja samoilla käyttötunneilla lasketaan kulutetun energian määrää ja hintaa. Laskennassa käytetyt tuotto ja kulutusarvot ovat kompressorin valmistajan antamia arvoja. Vanhat kompressorit eivät kuitenkaan toimi täysin samalla tavalla kuin tehdas arvot antavat olettaa, joten se muodostaa laskentaan pienen virhemarginaalin. Laskennassa on käytetty sähkön hinnassa 26 €/MWh ja se on annettu käyttöön laitoksen puolelta. Työssä ei perehdytä yksittäisiin vuotopaikkoihin verkoston laajuden vuoksi, mutta esitetään kuinka paljon yksi vuotopaikka voi kustantaa vuoden aikana. Yksi vuotopaikka kustantaa kokonsa nähden paljon ja kertaantuu mitä suurempi vuotoreikä on. Paineilmaverkosta ei pidä kuulua minkäänlaista suhinaa.

Optimointi on suuri kokonaisuus, johon kuuluu useampi eri työvaihe. Opinnäytetyö on optimoinnin ensimmäinen vaihe, jossa selvitetään kokonaisvaltaisia lukemia ja ongelmakohtia. Työn tarkoitus on tuottaa dataa, jotta varsinaisessa optimoinnissa puututaan oikeisiin asioihin.

2.2 Laitoksen omistus ja hallinto

Työ suoritetaan Turku Energia Oy:n toimeksiantona. Turku Energia toimii Naantalin voimalaitoksella hallinnoijana ja osaomistajana. Laitoksen omistajuus jakaantuu usealle taholle ja piiriin kuuluu niin yrityksiä kuin kaupunkejakin.

Turun seudun energiantuotanto Oy (TSE) on Turun alueella toimiva useiden tahojen omistama energiantuottaja. TSE:n toiminta nykyisessä muodossaan alkoi vuoden 2011 lopussa, kun Turku Energia ja Fortum Power & Heat solmivat sopimuksen, jossa hyödynnetään seudullista energiayhteistyötä. Seutusopimuksen myötä TSE:n omistus jakaantui seuraavasti: Fortum Power and Heat 49,5 %, Turku Energia Oy 39,5 %, Naantalin kaupunki 3 %, Raision kaupunki 5 % ja Kaarinan kaupunki 3 %. (Turun seudun energiantuotanto Oy, 2020a.)

Turku Energia Oy on Varsinais-Suomen johtava energiayhtiö ja yksi Suomen suurimmista alan yhtiöistä. Turku Energia Oy:n omistaa Turun kaupunki. Yhtiön toimintaan kuuluvat lämmön- ja sähköntuotanto, lämmön ja sähkön jakelu ja myynti sekä niihin liittyvät palvelut. Turku Energian tuottama kaukolämpö tuotetaan pääosin Naantalin voimalaitoksella, Orikedon biolämpökeskuksessa ja Kakolan lämpöpumppulaitoksessa. Naantalin

voimalaitoksella Turku Energia on laitoksen osaomistaja sekä toimiva hallinnoija. (Turku Energia Oy 2020b.)

Turku Energia on merkittävä tekijä Turun kaupungin ilmastotavoitteissa. Turun kaupunki tähtää hiilineutraaliksi alueeksi vuoteen 2029 mennessä (Turun kaupunki 2020). Tämä edellyttää laajoja uudistuksia erityisesti energia- ja liikkumisjärjestelmissä sekä kaupungin, yritysten ja koko kansalaisyhteiskunnan toiminnassa. Voimalaitos on kokonaisuudessaan merkittävä kohde hiilineutraaliuden kannalta ja laitos vaatii huomattavia investointeja tavoitteen toteuttamiseksi. (Turku Energia Oy 2020a.)

3 PAINEILMA JA TUOTTAMINEN

Paineilmajärjestelmän suunnittelussa ja tarkastelussa on otettava huomioon monia termodynaamisia asioita. Muuttuvaa tilavuutta, lämpötilaa ja painetta on ymmärrettävä, jotta voi ymmärtää järjestelmän kokonaisuutta. Paineilmaa puristetaan koneellisesti ja sen puristuvuutta voidaan mallintaa esimerkiksi ideaalikaasun tilanyhtälöllä.

3.1 Ideaalikaasu

Idealikaasu on mallikaasu, jonka avulla voidaan laskea ja kuvata matemaattisesti kaasun käyttäytymistä erilaisissa olosuhteissa. Idealikaasun tilanyhtälöä voidaan käyttää monella eri kaasulla, mutta tässä tilanteessa työ kohdistuu ilmaan. Ilma käyttäytyy normaalilämpötilassa melko tarkasti kuten yhtälössä.

$$pV = mRT$$

Kaava 1. Idealikaasun tilanyhtälö.

Idealikaasun tilanyhtälössä:

- p = absoluuttinen paine
- V = tilavuus
- m = kaasun massa
- R = ominaiskaasuvakio
- T = absoluuttinen lämpötila

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

Kaava 2. Tilanyhtälö.

Tietyissä tilanteissa jokin ominaisuus voi pysyä niin sanottuna vakiona eli alku- ja loppupiste on sama. Ominaisuuden pysyessä vakiona voidaan se supistaa kokonaan pois yläpuolella olevasta kaavasta. Lämpötilan pysyessä vakiona prosessi on isoterminen, paineen pysyessä vakiona prosessi on isobaarinen ja tilavuuden pysyessä vakiona on prosessi isokoorinen. (Ellman, A. ym. 2002.)

3.2 Paine

Paineella tarkoitetaan johonkin pintaan kohdistuvaa kohtisuoraa voimaa pinta-alayksikköä kohti ja se ilmaistaan matemaattisesti kaavalla:

$$p = F/A$$

Kaava 3. Paine matemaattisesti.

Paineen yksikkö on pascal (Pa) = N/m². Paineen yksikkönä pascal on hyvin pieni, joten usein käytetään myös pascalin kerrannaisia yksiköitä: kPa, MPa ja bar. 1 bar = 10⁵ Pa. Normaali ilmanpaine eli absoluuttinen paine on 101 325 Pa merenpinnan korkeudella. Paine, joka ylittää absoluuttisen paineen, on ylipainetta. (Ellman, A. ym. 2002.)

3.3 Tilavuus

Kaasun tilavuus ei ole vakio, vaan riippuu vallitsevasta paineesta ja lämpötilasta. Tämän vuoksi kaasujen yhteydessä käytetään termiä massavirta, joka ei ole riippuvainen paineesta ja lämpötilasta. Siksi massavirta soveltuu teoreettiseen tarkasteluun.

Ilman tiheys riippuu paineesta ja lämpötilasta tilanyhtälön mukaisesti:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{p}{RT}$$

Kaava 4. Tilanyhtälö.

3.4 Vahvuudet ja heikkoudet

Paineilma on koneellisesti kasaan puristettua ilmaa, joka on puristettu vähintään kaksinkertaiseen paineeseen alkupisteestä. Alkupiste on normaali ilmanpaine, koska tuotantoilma otetaan ulkoilmasta. Edullinen raaka-aine tekee itse paineilmasta hyvinkin edullista, mutta sen koneellinen tuotanto kuluttaa runsaasti sähköenergiaa ja kompressoreiden hyötysuhde on yleisesti heikko. Usean arvion mukaan teollisuuden sähköenergian kuluista noin 5 % tulisi yksistään paineilman tuottamisesta. Paineilma on kuluistaan huolimatta todella yleishyödyllinen resurssi, jolla on monia käyttötarkoituksia teollisuudessa.

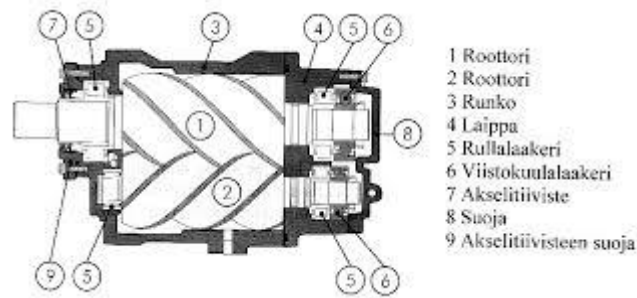
Paineilman avulla on mahdollista tehdä monia toistuvia töitä, jotka ovat ihmisille vaarallisia tai raskaita. Myös vaarallisessa tai epämiellyttävässä ympäristössä tapahtuvia töitä voidaan suorittaa paineilman avulla. Useimmiten työsuorite tapahtuu kaasun paineella ja virtauksella aikaansaaduilla tehonsiirroilla. Tehoa siirretään erilaisilla hydraulisilla, männällisillä tai kalvallisilla toimilaitteilla kohteen vaatimalla tavalla. Paineilma on myös melko vaaratonta ja siistiä, joten sitä on helppoa hyödyntää käsityökaluissa, joita ihminen käyttää. Paineilmatyökalu huomattavasti tehokkaampi ja monikäyttöisemp samankaltaiseen sähkötyökaluun verrattuna. Tiivistettynä paineilmaan varastoidaan energiaa, jota hyödynnetään yksinkertaisena työnä. Paineistetun kaasun käyttötekniikkaa kutsutaan yleisesti pneumatiikaksi. (Hulkkonen, V. 2005.)

4 PAINEILMAN TUOTANTOTEKNIikka

Paineilma tuotetaan koneellisesti, ja tuotantokonetta kutsutaan yleisesti kompressoriksi. Markkinoilla on tarjolla lukuisilla eri tekniikoilla varustettuja kompressoreja, mutta yleisin tapa tuottaa paineilmaa on sähkömoottorilla toimiva syrjäytyskompressori. Voimalaitosolosuhteissa yleisimpiä kompressoreja ovat staattisesti puristavat ruuvikompressorit, joten opinnäytetyössä käsitellään pääasiassa ruuvikompressoreja. Kompressorin valintaan vaikuttaa järjestelmän laajuus, haluttu painetaso sekä tuotantokohteeseen nähden toimivin ratkaisu. Teollisuudessa paineilman tuotanto on usein jatkuvaa ja ilmaa on tuotettava lähes kokoajan painetason ylläpitämiseksi. Alentunut painetaso vaikuttaa usein suuren tuotantolaitoksen toimintoihin laajasti ja on elintärkeä tuloksellisuuden kannalta. Kompressorien huolloista ja käyttämisestä syntyy myös omat kustannuksensa, joten perehtyminen hankintahinnan ulkopuolisiin kuluihin on hyvin oleellinen osa hankintaprosessia. Kaikkia ulkopuolisia kuluja ei välttämättä pysty täysin selvittämään monimutkaisissa järjestelmissä, mutta suuntaa antavia arvioita on helppo muodostaa pienellä perehtymisellä paineilmatekniikkaan. (Ellman, A. ym. 2002.)

4.1 Puristustekniikka - ruuvikompressori

Ilma paineistetaan puristamalla normaalia ulkoilmaa pienempään tilavuuteen. Puristustekniikoita on monia erillaisia ja yleisimmin käytössä on syrjäytyskompressorit. Syrjäytyskompressoreihin kuuluu mäntä-, ruuvi-, kalvo- sekä scroll-kompressorit. Suuret teollisuuslaitokset käyttävät yleisimmin ruuvipuristustekniikkaa. Ruuvikompressori puristaa ilmaa staattisesti eli ilmakaasuvirta ohjataan kammioon, jossa tilaa pienentämällä kasvatetaan staattista painetta. Ruuvikompressori saavuttaa pyörivillä roottoreilla tasaisen tuoton sekä kokoonsa nähden suuren tilavuusvirran. Ruuviyksikkö koostuu ruuvi- ja luis-tiroottoreista, jotka ovat rynnöissä keskenään. Roottorit imevät ilmaa välissä kulkevaan uraan rungon imuaukon kautta. Roottorin pyöriessä yhteys imuaukkoon sulkeutuu ja ilma jatkaa kapenevaa uraa pitkin. Kapeneva ura tarkoittaa tilavuuden pienenemistä, joten ilma pakotetaan puristumaan pienempään tilavuuteen. Ruuvi johtaa puristetun ilman ulos paineaukosta. Roottoreita ympäröi kompressorin runkorakenne. (Ellman, A. ym. 2002.)



Kuva 2. Suoratoiminen ruuviyksikkö. (Ellman, A. ym. 2002, s.44)

Roottorien lukumäärä ja malli vaihtelee halutun tarpeen mukaan. Markkinoilla on nykyisin tarjolla sekä symmetrisiä että epäsymmetrisiä ruuviprofiileja. Epäsymmetrisyydellä saavutetaan usein parempi hyötysuhde vähäisten vuotojen takia. Usein käytetään neliharjaisen ruuvin ja kuusiuraisen luistiruuvin yhdistelmää. Yksikössä ei ole ollenkaan venttilejä, joten mekaanista epätasapainoa ei synny. (Ellman, A. ym. 2002.)

Ruuvikompressorissa jäähdytys toteutetaan usein nestemäisellä voiteluaineella. Yleisimmin käytetty neste on öljy, jolla on käyttötarkoitukseen monia hyviä ominaisuuksia. Voitelu tapahtuu suihkuttamalla puristustilaan, vaihteistoon ja laakereille öljyä. Suihkutettu öljy siirtyy osittain puristettuun kaasuun. Tämä tarkoittaa sitä, että puristuksen tuotetta on käsiteltävä jälkikäsittelylaitteistolla, jotta siitä saadaan laadullisesti oikeanlaista lopputuotetta. Lopputuotteen öljykontaminaation mahdollisuus on kuitenkin aina olemassa.

Ruuvikompressoritoteutus onnistuu myös öljyttömänä. Öljyttömässä tekniikassa roottorit eivät kosketa toisiaan vaan niiden välillä on sadasosamillimetrien välys. Roottorit on myös usein pinnoitettu erilaisin kovaseospinnoittein. Puristuksessa muodostuu lämpöä, jota yleensä öljyllä saa jäähdytettyä, mutta öljyttömässä tekniikassa lämpötilan liiallista nousemista rajoitetaan. Rajoitettu lämmön nousu tarkoittaa, että painesuhde on myös rajallinen, joten riittävän paineen luomiseksi käytetään monivaiheista puristusta. Öljyttömän ruuvikompressorin etu on se, että lopputuote on oikeasti öljytöntä. Öljytön ruuvikompressor ei ole pidempien testausjaksojen mukaan niin kestävä kuin öljytty ruuvikompressor. (Ellman, A. ym. 2002.)

4.2 Jälkikäsitteilylaitteisto

Paineilmassa on aina puristamisen jälkeen epäpuhtauksia, jotka kulkeutuvat jakelujärjestelmään. Järjestelmään voi kulkeutua esimerkiksi öljyä, pienhiukkasia tai bakteereja. Epäpuhtauksia yritetään poistaa jälkikäsitteilylaitteilla. Jälkikäsitteilylaitteistoon kuuluu paineilman kuivaaminen, suodattaminen sekä järjestelmä ja varastointi. Laadukkaasti suunniteltu järjestelmä takaa jälkikäsitteilyllä laadukasta ja hyvää paineilmaa. Jälkikäsitteilylaitteisto on usein sijoitettu keskitetysti paineilmakeskuksiin eli samaan tilaan kuin kompressorit. Jälkikäsitteilylaitteisto aiheuttaa järjestelmälle painehäviötä sekä kuluttavat sähköenergiaa. Jälkikäsitteilylaitteiston kulut ovat epäsuoriakuluja joita ei usein huomioida mukaan kun lasketaan kompressoreiden energiankulutusta.

Paineilman kuivaaminen

Paineilmaa voidaan kuivata monella eri tekniikalla. Käytetyimpiä kuivaimia ovat jälkijäähdytin, jäähdytyskuivain ja adsorptiokuivain. Jälkijäähdytin on lämmönvaihdin, joka erottaa vettä puristetusta ilmasta. Sen poistokyky on toimivassa järjestelmässä n. 90 % ilman absoluuttisesta kosteudesta. Jäähdytyskuivain pitää sisällään kaksi kiertopiiriä. Ensimmäisessä kiertopiirissä kulkee kuivattava ilma, joka kulkee lämmönvaihtimen ja vedenerottimen läpi. Toisessa piirissä kulkee jäähdyttävää kylmäainetta. Absorptiokuivain sitoo vesimolekyylejä itseensä kuivausaineen avulla. Kuivausainetta elvytetään lämpimällä ilmalla tai sähkövastuksilla. Absorptiokuivaimella voidaan saavuttaa hyvin alhainen kastepiste. (Ellman, A. ym. 2002.)



Kuva 3. Malli adsorptiokuivaimesta. (Atlas Copco Oy 2020.)

Suodattaminen

Paineilmasta on tarkoitus erottaa suodattamalla nesteitä, kaasua tai sumua. Usein käytetään kolmea eri tekniikkaa: mekaanista suodatusta, yhdistymisuodatusta ja absorptiosuodatusta.

Mekaanisessa suodatuksessa partikkelien eteneminen pyritään estämään verkkotekniikalla. Siihen käytetään päällekkäin olevia verkkoja, joissa on erikokoiset reiät. Reikien avulla on tarkoitus kerätä ensin suurimmat partikkelit pois, minkä jälkeen verkkokokoa tihenee. Pienireikäiset verkot ovat tehokkaita, mutta aiheuttavat suurta painehäviötä. Yhdistymissuodatuksessa nestepisarat ajatetaan kerrosten läpi toisiinsa kiinni ja ne yhdistyvät isommaksi pisaraksi. Suuri pisara tarttuu suodatinmateriaaliin ja valuu pois. Absorptiosuodatin toimii samankaltaisella tekniikalla kuin absorptiokuivain, mutta ilman kuivausaineominaisuutta. Epäpuhtaudet sidotaan suodattimen pintaan. (Ellman, A. ym. 2002.)

Järjestelmä ja varastointi

Paineilmaverkko on yksilöllisesti suunniteltu verkko, minkä takia jokaista verkostoa on tarkasteltava yksilöllisesti. Perustoiminnot ovat kuitenkin lähes samanlaiset kaikissa järjestelmissä. Jakelujärjestelmä koostuu putkijärjestelmästä, venttiileistä ja muista vaadittavista putkijärjestelmän osista.

Paineilmakeskuksesta ilma ajetaan suoraan verkkoon tai vaihtoehtoisesti paineilmasäiliöön. Säiliö on suositeltava, koska se toimii hyvänä varastona, tasaa kulutuspiikejä ja jäähdyttää ilmaa. Jakeluverkko koostuu putkistosta, venttiileistä, liittimistä ja muista putkijärjestelmän varusteista. Verkko voi olla malliltaan suoraverkko tai rengasverkko. Suoraverkolla tarkoitetaan yksiputkijärjestelmää, jonka ilman liike on yksisuuntainen käyttökohteen suuntaan. Rengasverkko on laajempiverkko ja virtaus voi tapahtua tarvittavaan kohteeseen kahdesta suunnasta. (Ellman, A. ym. 2002.)

4.3 Sähkömoottori

Sähkömoottori on yleisin tuotantomuoto kompressoritekniikassa. Sähkömoottoritekniikka on laaja-alaista teollisuudessa ja teknisiä toteutusmahdollisuuksia monia.

Kompressorin sähkömoottori toimii usein täydellä kuormituksella tai on varustettu taajuusmuuttajalla, joka nimensä mukaan muuttaa sähkömoottorin nopeutta tuotannon tarpeen mukaan. Täyden kuormituksen moottori ajaa päälle/pois-tyyppisesti tai päälle/kevennys-tyyppisesti. Kevennyksellä tarkoitetaan kevennyskäyntiä, jolloin kone ei tuota mitään, mutta on valmiudessa palaamaan käyntiin pikimmiten. Taajuusmuuttajalla varustettu kompressor ei käy kevennyskäyntiä. Oikein asennettu ja säädetty taajuusmuuttaja voi säästää sähköenergiakuluissa huomattavasti pitkällä aikavälillä. Säästö syntyy pääasiassa siitä, että kompressor käy koko ajan tasaisella kuormalla tuotannon tarpeen mukaan. Kun kuorma on tasainen, on myös sähkökuorma suhteessa tasainen. Moottorin käyttö jatkuvasti huippukuormalla tuottaa hetkellisesti maksimituottoa. Tuotantotarpeen täytyessä tai pudotessa kompressor putoaa kevennyskäynnille, jolloin moottori jatkaa säädetyn ajan käyntiä, mutta ei tuota paineilmaa. Huippukuormalla kompressor kuluttaa myös huippukuorman sähköenergiaa. Huippukuorman lisäksi kevennyskäynti kuluttaa tyhjää sähköenergiaa, josta saattaa huonoilla säädöillä ja ajojärjestelyillä muodostua pitkällä aikavälillä suuri kuluerä.

4.4 Sähköenergian kulutus

Pääasiallisesti paineilmaa tuotetaan sähköenergialla, mutta markkinoilta löytyy lisäksi kaasulla tai nestemäisillä polttoaineilla toimivia kompressoreja. Tuotantokoneista löytyy yleisesti monenlaisia erilaisia sähköenergialla toimivia ratkaisuja. Sähköenergiaa tuotetaan ympäri Suomea ja sitä tuodaan myös ulkomailta. Suomen sähköverkko koostuu lukuisten eri toimijoiden ylläpitämästä siirto- ja jakeluverkosta. Jakeluverkot koostuvat eri jännitteillä (U) toimivista osista. Mitä suuremmalla jännitteellä sähköä siirretään, sitä pienempi virta ja siten myös pienempi siirtohäviö.

Yleisesti teollisuuskompressor toimii kolmivaihevirralla, joka on yksi vaihtovirran muoto. Kolmivaihevirran etu on voimansiirrossa, sillä vaiheet muodostavat jatkuvan vakiotehon. Kolmivaihevirtakaapelissa kulkee nimensä mukaisesti kolme vaihetta, joiden tunnuksat ovat L1, L2 ja L3. Lisäksi kaapelissa kulkee nollajohdin (N) ja suojamaa (PE). Pienjänniteverkon jännite on Suomessa 230 V, joka tarkoittaa yksivaiheisen kaapelin jännitettä. Kolmivaihevirtakaapelissa jokaisessa vaiheessa jännite on 230 V, mutta pääjännite muodostuu kuitenkin vaiheitten välisestä jännitteestä. Tällöin verkon pääjännite on:

$$\sqrt{3} * U_P = \sqrt{3} * 230 V = 400 V$$

Kaava 5. Kolmivaihevirta.

Tilastokeskuksen teollisuuden energiankäyttöraportin mukaan teollisuus kulutti vuonna 2017 Suomessa 519 petajoulea (PJ) sähköenergiaa. Arvioiden mukaan teollisuuden energiakuormasta noin viisi prosenttia kuluisi yksistään paineilman tuotantoon. Tämä tarkoittaisi sitä, että paineilmantuotanto kuluttaisi noin 26 petajoulea sähköenergiaa vuodessa. Yleisesti paineilmantuotannon hyötysuhde on huono, mutta se korostuu entisestään, jos järjestelmä on suunniteltu huonosti. Tuotantolaitoksessa on monesti useampi paineilmakompressori ja kompressoreiden ajojärjestelyllä voi vaikuttaa huomattavasti hyötysuhteeseen. (Tilastokeskus 2018.)

Naantalin voimalaitoksen paineilmaverkko toimii kuuden baarin ylipaineella. Paineen pudotessa alle määritetyn rajan, lähtee kompressori tuottamaan lisää painetta verkkoon. Kompressorin käynnistyessä myös kompressorin sähköenergian kulutus käynnistyy. Suoraa mitattavaa sähköenergia kuluu ilman puristamiseen ja jälkikäsittelylaitteiston toimiin. Jälkikäsittelylaitteiston energiakulua ei usein huomioida kun arvioidaan paineilman tuotannon energiakuluja.

Lisäksi epäsuoria kuluja syntyy painehäviöistä, hukkalämmöstä ja vuodoista. Painehäviötä syntyy tuotantojärjestelmän joka osassa ja tuotantojärjestelmää rakentaessa tulisi huomioida järjestelmän ja toimilaitteiden tuottama painehäviö kokonaisvaltaisesti. Laitteiston tuottama painehäviö tulee huomioida korotuspaineella, jotta koko järjestelmän painetaso pysyy oikealla tasolla. Häviön määrä riippuu monesta asiasta kuten esimerkiksi järjestelmän iästä ja kunnosta. Putkijärjestelmän likaantuneet, kuluneet ja vanhat osat vaikuttavat kitkapainehäviön määrään suuresti. Kitkapainehäviötä pystytään laskennallisesti arvioimaan huomioimalla järjestelmän jokainen osa laskennallisena putkipiututena eli ekvivalenttina. Kompressorin käydessä laite tuottaa hukkakulua lämmittämällä tuotettua paineilmaa sekä säteilemällä lämpöä ympärillä olevaan ilmatilaan. Ilmatilasta lämmitetty ilma poistetaan usein ulkoilmaan, jos lämpöä ei voida hyödyntää muissa kohteissa esimerkiksi tilan lämmityksessä. Paineilmakeskuksen ilmatilaan on vaihdettava ilmaa, jotta paineilmakeskus ei lämpene liikaa. Ulkoilmaan ajettu lämmin ilma on suoraan hukkaan ajettua lämpöä.

Suurissa tuotantolaitoksissa paineilmajärjestelmä on usein verkkona laaja ja paineilman käyttökohteita on useita. Suurissa verkoissa esiintyy yleensä enemmän suhisevia

vuotoja kuin pienemmissä, yksinkertaisemmissa järjestelmissä. Pienen vuodon kustannukset ovat kuitenkin merkittäviä koko vuoden kustannuksissa. Halkaisijaltaan yhden millimetrin kokoinen vuotopaikka vuotaa vuoden aikana kuuden baarin paineella noin $0,07 \text{ m}^3/\text{min}$. Hinnaksi muodostuu työssä käytetyn sähköhinnan (26 €/MWh) perusteella noin 67 € vuodessa. Suuremmissa vuodoissa hinta moninkertaistuu nopeasti todella suureksi. Yhden pienen vuodon hinta on siis kallis verrattuna vuodon korjaamiskuluihin. Korjauskuluihin voidaan tulkita korjaukseen kuluvat tarvikkeet sekä korjauksen suorittavan asentajan työaika. (Sarlin Oy 2020b.)

4.5 Paineilman laatu

Monessa teollisuuden kohteessa on yksilöllisesti rakennettu paineilman tuotantoverkosto, jota voidaan hyödyntää kohteen yksilöidyllä tavalla. Kohde saattaa vaatia tietyn tyyppisen kompressorin tai jälkikäsittelylaitteiston. Jälkikäsittelylaitteistoon kuuluu esimerkiksi suodattimia ja kuivaimia. Suodatintekniikka on tärkeässä osassa, kun pyritään tiettyihin paineilman laatuksiteereihin. Paineilman laatuksiteereitä määrittää ISO8573-1-laatustandardi, joka määrittelee hyväksyttävät jäännöspitoisuudet pölyn, veden ja öljyn osalta. Standardi määrittää suoraan luokkanimikkeen partikkelien jäännöspitoisuuden määrän mukaan. Elintarviketeollisuuteen on oma laatuoluokkansa. Standardi helpottaa paineilman käyttökohteiden suunnittelemista sekä jälkikäsittelylaitteiston tarpeen suunnittelemista ja huoltoa. Voimalaitosympäristössä jäännöspitoisuudet eivät ole yhtä tarkkoja kuin esimerkiksi sairaalassa tai terveysasemalla.

PAINEILMAN LAATU ISO 8573-1:2010 STANDARDIN MUKAAN							
Paineilman laatuluokka	KIINTEÄT PARTIKKELIT				VESI		ÖLJY
	Partikkeleiden maks. määrä/m³			Massapitoisuus mg/m³	Paineenalainen kastepiste	Neste g/m³	Öljysumu, -neste ja -höyry mg/m³
	0,1...0,5 µm	0,5...1 µm	1...5 µm				
0	Laitteiden käyttäjän tai toimittajan määrittelemä ja tiukempi kuin luokka 1.						
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-
7	-	-	-	5 ... 10	-	≤ 0,5	-
8	-	-	-	-	-	0,5...5	-
9	-	-	-	-	-	5...10	-
x	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10

Kuva 4. Paineilman jäännöspitoisuudet. (Sarlin Oy 2020a. Paineilman laatu ISO 8573-1:2010 standardin mukaan.)

4.6 Voimalaitoksen infojärjestelmä

Voimalaitoksen infojärjestelmänä käytetään Valmetin DNA Report -järjestelmää. Järjestelmä sisältää raportoinnin, analysoinnin ja yhteisötyökalut, jotka voidaan määritellä käyttäjäkohtaisesti. Järjestelmä toimii verkkopohjaisena portaalina ja dataa on mahdollista tarkastella aputyökalujen avulla. Tapahtumaraportteja ja dataa voidaan siirtää jatkokäsitteilyyn esimerkiksi Microsoft Exceliin tai tallentaa PDF-muotoon. (Valmet DNA Report 2020.)

5 PAINEILMAN TUOTANTO JA SEN KUSTANNUKSET

Naantalin voimalaitoksella paineilmaa tuotetaan usealla eri kompressorilla, jotka sijaitsevat eri puolilla laitosta. Kompressorit käsitellään työssä kompressorikohtaisesti, joten myös tulokset käsitellään yksilöllisesti jokaisen kompressorin osalta. Pääasiassa työ on selvitystyötä, jossa kerätään jo olemassa olevaa tietoa.

Voimalaitoksen vanhassa osassa on käytössä Atlas Copcon valmistamia ruuvikompressoreja. NA4-laitoksella on Frecon Hertz -ruuvikompressoreja sekä hankinnan alla yksi uusi Atlas Copcon paineilmakompressor.

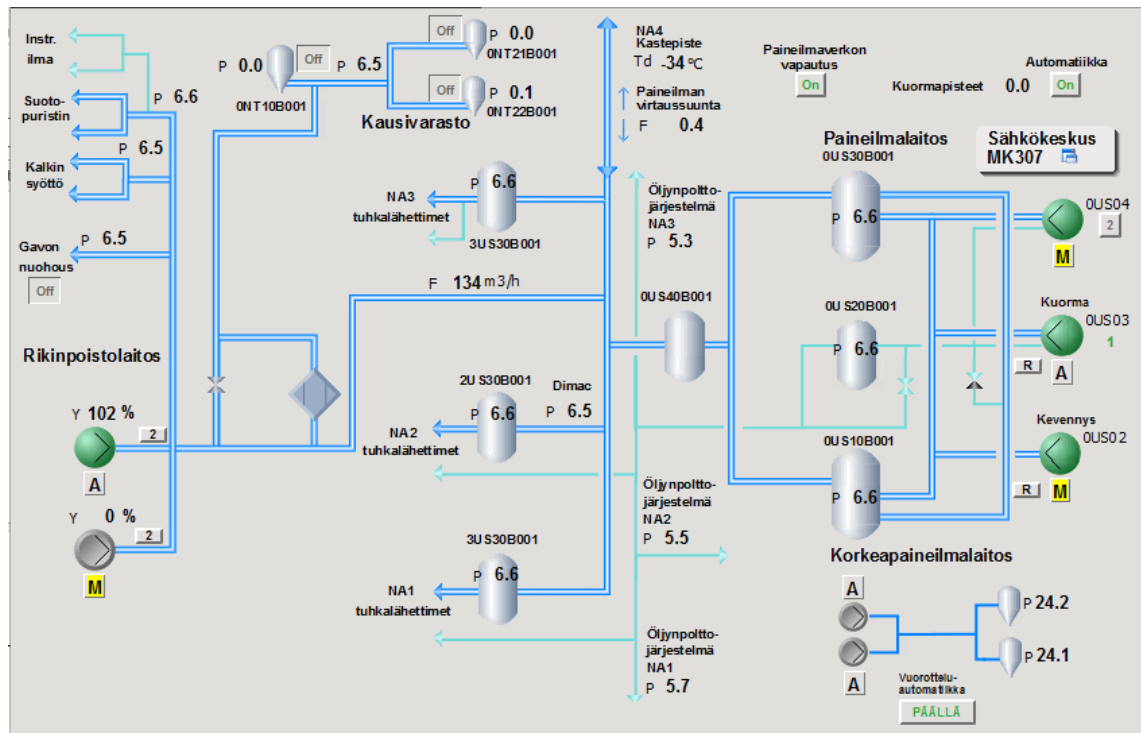
Taulukko 1. Paineilmakompressorit ja niiden sijainti.

Merkki ja malli	Sijainti
Atlas Copco GA90 VSD	rikinpoistolaitos
Atlas Copco GA90 VSD	rikinpoistolaitos
Atlas Copco GA160	NA1-3 paineilmakeskus
Atlas Copco ZR145	NA1-3 paineilmakeskus
Atlas Copco ZR160	NA1-3 paineilmakeskus
Frecon Hertz 250P	NA4 paineilmakeskus
Frecon Hertz 250P	NA4 paineilmakeskus
Atlas Copco ZR250	hankinnassa

Selvitystyössä on aluksi oleellista todentaa, mitä kaikkea pitää ottaa selville. Aluksi pitää selvittää jokaisen kompressorin yksilölliset tekniset tiedot. Tekniset tiedot selvisivät koneen omasta teknisestä ohjemanuaalista. Työssä ei ole tutustuttu laitoksen paineilmanjakeluverkkoon yksinkertaista tarkastelua syvemmin. Tarkastelussa selviää järjestelmästä tuotantokohteet sekä suurimmat kulutuskohteet. Lisäksi työssä on tarkasteltu voimalaitoksen infojärjestelmää, josta on mahdollista tarkastella yksinkertaistettua järjestelmäkuvausta.

Kuvassa 3 (alla) on näkyvissä erikseen rikinpoistolaitoksen paineilmakeskus sekä vanhan laitoksen paineilmakeskus. Kuva on yksinkertaistettu kaavio realistisesta jakelujärjestelmästä ja siinä näkyy päätoimilaitteet sekä suurimmat kulutuspiisteet. Keskellä kuvaa kulkee poikittaisputki, joka on yhdistetty rikinpoistolaitoksen ja vanhan laitospuolen

välillä. Kuvan ylälaudassa on näkyvissä putkijärjestelmän jatkuminen NA4-monipolttolaitokselle.



Kuva 5. Paineilmajärjestelmäkaavio voimalaitoksen infojärjestelmästä.

Kompressoreiden tietojen yhteenvedossa on kerättyä työn kannalta kaikki oleellinen tieto. Teknisestä ohjemanuaalista selvisi kunkin kompressorin tuotto ja sähkökulumäärä. Huoltokustannukset, kompressorin käyntiaika ja keskimääräinen käyntiprosentti selvisi voimalaitoksen oman järjestelmän kautta. Kerättyä dataa on hyödynnetty työn laskentavaiheessa. Keskimääräisellä käyntiprosentilla on laskettu kompressoreiden energiakulu sekä tuotettu ilmamäärä valitulla ajanjaksolla. Energian hinnan laskemiseen on käytetty arvoa 0,026 €/kWh, joka annettiin tiedoksi voimalaitokselta. Toimeksiannon mukaisesti jokaiselle kompressorille on laskettu myös yhden tuotetun ilmakeuution (m³) hinta.

Voimalaitoksen kompressorien ylläpitämiseksi niitä pitää huoltaa ja tarkastaa tasaisella aikavälillä, jokaisessa kompressorissa on määritetty valmistajan antama huoltoväli. Huoltokustannukset koostuvat kokonaan kompressoreille ja apulaitteille tehtävistä toimenpiteistä. Apulaitteiden huollot liittyvät usein suodattustekniikan huoltamiseen. Laitoksella on kahden valmistajan kompressoreja, joita huoltaa laitteisiin erikoistuneet ammattilaiset. Atlas Copcon kompressoreja huoltaa kompressorien valmistajan huoltopalvelu ja NA4-laitoksen Hertz Frecon -kompressoreja huoltaa Sarlin Oy.

5.1 Rikinpoistolaitoksen paineilmakeskus

Rikinpoistolaitoksessa sijaitsevat GA90-sarjan koneet ovat öljytoimisia ruuvikompresso-reja. Lisäksi koneet on varustettu VSD-taajuusmuuttajalla (Variable Speed Drive). VSD-taajuusmuuttaja muuttaa koneen taajuutta käynnin mukaan. Taajuusmuuttajalla varus-tettu kompressorit tuottaa ja kuluttaa vain sen, mikä on sen hetkellä paineilmakulutuk-sella tarpeellista. Taajuusmuuttajaohjatut kompressorit eivät käy kevennyskäyntiä. Ke-vennyskäynti on tyhjäkäyntiä, jolloin kone ei tuota paineilmaa verkkoon, mutta kompres-sorin moottori jatkaa käyntiään säädettyyn pisteeseen saakka. Koneen taajuuden muut-tuessa myös energian kulutus muuttuu, joten ohjemanuaalissa oleva kilowattiarvo ilmoit-taa ainoastaan huippukulutuksen rikinpoistolaitoksen kompressoreille. GA90-sarjan ko-neen energian kulutusta voidaan ainoastaan arvioida käyntitason perusteella. Käyntita-soa pystyy seuraamaan voimalaitoksen omasta seurantajärjestelmästä. Seurantajärjes-telmä kirjaa käyntitasoa prosentuaalisesti, ja siitä on mahdollista laskennan kautta arvi-oida keskimääräistä tuottoa ja kulutusta. Seurantajärjestelmän datan katselmukseen va-littiin ajanjaksoksi 11 kuukautta. Ajanjaksolla mitattu data on tuotu jatkokäsittelyä varten Microsoft Exceliin.

Rikinpoistolaitoksen molemmat kompressorit ovat malliltaan ja varusteillaan samanlai-set. Samanlaiset kompressorit ovat toisiinsa nähden vertailukelpoisempia. Kompressorin käyntiaikaotanta on otettu vuoden alusta ottamishetkeen eli 1.1.2019 - 28.11.2019, jol-loin vuorokausia on kertynyt 331 eli tunteina 7944 tuntia. Kompressorin käyntiprosentti on suoraan verrannollinen vuorokausiotantaan. Otanta on otettu voimalaitoksen infojär-jestelmästä samalla ajanjaksolla kuin edellä mainittu käyntiaika.

GA90-sarjan ensimmäisen kompressorin yhteenvetoon on kerätty tärkeimmät tiedot työn jatkamisen kannalta. Seuraavassa vaiheessa arvioidaan kulutetun energian hintaa kes-kimääräisesti käyntiprosentin avulla. Työssä on huomioitu energian kulutus sekä paineil-mantuotto käyntiprosentin 71,86 % mukaan. Käyntiprosentti on keskimääräinen käynnin määrä pidemmältä ajanjaksolta. Ajanjakso sisältää käyntiprosentin vaihtelua suurella to-leranssilla.

Taulukko 2. Kompressorin 1 GA90 yhteenveto.

KOMPR.1 Atlas Copco GA90 VSD FF (Variable Speed Drive Full Feature)	
Vuosittainen Huoltokustannushinta	6180 €
KOMPR.1 GA90 Käyntiaika	7672 h / 331 vrk
Ilmantuotto max.	1008 m ³ /h
Sähköenergiakulu/tunti	90 kWh
Keskimääräinen käyntiprosentti	71,86 %

Taulukko 3. Kompressorin 1 GA90 kustannukset.

KOMPR.1 Rikinpoistolaitos Atlas Copco GA90 VSD FF (Variable Speed Drive Full Feature)	
Ajanjaksolla kulutetun energian hinta €	$7672 \text{ h} * 90 \text{ kWh} * 0,7186 * 0,026 \text{ €/kWh}$ = 12901 €
Ajanjaksolla tuotettu ilmamäärä m ³	$7672 \text{ h} * 1008 \text{ m}^3/\text{h} * 0,7186$ = 5557003,057 m ³
Yhden ilmakehän hinta m ³ /€	$(12901 \text{ €} + 6180 \text{ €}) / 5557203,9$ = 0,0034338 €

Rikinpoistolaitoksen toinen kompressorin on samanlainen verrattaessa ensimmäiseen kompressorin. Kompressoreista on kerätty yhteenvetoon sama huoltokustannus, kulutus ja tuottoarvo. Käyntitunnit ja keskimääräinen käyntiprosentti on kirjattu infojärjestelmästä.

Taulukko 4. Kompressorin 2 GA90 yhteenveto.

KOMPR.2 Atlas Copco GA90 VSD FF (Variable Speed Drive Full Feature)	
Vuosittainen Huoltokustannushinta	6180 €
KOMPR.2 GA90 Käyntiaika	6764 h / 331 vrk
Ilmantuotto max.	1008 m ³ /h
Sähköenergiakulu/tunti	90 kWh
Keskimääräinen käyntiprosentti	48,91 %

Taulukko 5. Kompressorin 2 GA90 kustannukset.

KOMPR.2 Rikinpoistolaitos Atlas Copco GA90 VSD FF (Variable Speed Drive Full Feature)	
Ajanjaksolla kulutetun energian hinta	$6764 \text{ h} * 90 \text{ kWh} * 0,4891 * 0,026 \text{ €/kWh}$ =7741 €
Ajanjaksolla tuotettu ilmamäärä	$6764 \text{ h} * 1008 \text{ m}^3/\text{h} * 0,4891$ = 3335340,343 m^3
Yhden ilmakeinon hinta $\text{m}^3/\text{€}$	$(7741 \text{ €} + 6180 \text{ €}) / 3335340,343$ 0,0041743 €

5.2 Laitosten NA1-3 paineilmakekus

Voimalaitoksen vanhalla puolella sijaitseva paineilmakekus koostuu kolmesta paineilmakekpressorista, joista kahdesta oli saatavissa infojärjestelmän mittausdataa. Kolmatta kompressorista eli ZR160-kompressorista arvioidaan kompressorin oman tiedonkeruujärjestelmän kautta. Haasteena kompressorin omassa tiedonkeruujärjestelmässä on datan määrän kapeus. Saatavilla on ainoastaan kompressorin omasta järjestelmästä kokonaismuoritusmuunnit ja kokonaismuunnit. Infojärjestelmästä on saatavissa aika, jolloin kone on kytketty infojärjestelmän kanssa yhteen. Ajojärjestelyn mukaan paineilmakekkuksen koneista tarpeen mukaan eniten käytössä olisi kompressorista 4, eli ZR160. Seuraavana prioriteettijärjestyksessä on ZR145 ja viimeisenä GA160. Tavoitteena olisi käyttää mahdollisimman vähän GA160-kompressorista.

Laskennassa on otettu erikseen huomioon kompressorin kuluttama kevennyskäynnin sähköenergia. Kevennyskäynnin kulutuksen määrä on saatu arviona konevalmistajan verkkosivuilta. Kevennyskäynnin kulussa ei otettu huomioon varmuuslaskentaa arvion päälle. Todennäköisesti vanha kompressorista kuitenkin kuluttaa laskettua enemmän kevennyskäynnillä. Kulutettu energia- ja rahamäärä kevennyskäynnillä on suuntaa antava arvio.

Kompressorista GA160 on vanhan laitoksen paineilmakekkuksen ainoa öljytoiminen ruuvi-kompressorista. Huipputuotantomäärällisesti GA160-kone on keskuksen tuottavin kone, mutta kustannuksiltaan suurin. Huoltosopimuksesta selvisi öljytoimisen kompressorin huoltamisen olevan huomattavasti kalliimpaa kuin öljyttömän. Hinta muodostuu perushuollosta, suodattimista sekä jälkikäsitteilylaitteiston huolloista.

Taulukko 6. Kompressorin GA160 yhteenveto.

KOMPR.2 Paineilmakeskus Atlas Copco GA160	
Vuosittainen Huoltokustannushinta	8000 €
KOMPR.2 GA160 Kuormatunnit	3559 h
KOMPR.2 GA160 Kevennystunnit	2919 h
Ilmantuotto max.	1818 m ³ /h
Sähköenergiakulu/tunti kuorma	160 kWh
Sähköenergiakulu/tunti kevennys	40 kWh

Alla olevasta laskentataulussa on laskettu yhden ilmakeuution hintaa. Hinnan laskennassa on otettu huomioon huoltokustannukset, jotka ovat öljyllisellä kompressorilla huomattavasti korkeammat kun öljyttömällä.

Taulukko 7. Kompressorin GA160 kustannukset.

KOMPR.2 Paineilmakeskus Atlas Copco GA160 Laskenta	
Ajanjaksolla kulutetun kuormaenergian hinta €	$3559 \text{ h} * 160 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 14801,28 €
Ajanjaksolla kulutetun kevennysenergian hinta €	$2919 \text{ h} * 45 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 3415,23 €
Ajanjaksolla tuotettu ilmamäärä m ³	$3559 \text{ h} * 1818 \text{ m}^3/\text{h}$ = 6468444 m ³
Yhden ilmakeuution hinta m ³ /€	$(14801,28 \text{ €} + 3415,23 \text{ €} + 8000 \text{ €}) / 6468444 \text{ m}^3$ = 0,0040530 m ³ /€

ZR145 on öljytön ruuvikompressor ja vanhan laitoksen paineilmakeskuksen pienin kompressor tuotantokyvyn määrän mukaan. Kompressorista on saatavilla infojärjestelmän dataa sekä koneen oma monitoridata. Huoltosopimuksesta ilmenee kompressorin huoltoedullisuus. Infojärjestelmän datan mukaan ZR145-kone käy hyvin paljon kevennyksellä, eli ei tuota mitään. Kuorma- ja kevennystuntien suuresta erosta on nähtävissä heti virhe ajojärjestelyssä. Suuri kevennystuntimäärä kuluttaa pitkällä aikavälillä huomattavia määriä sähköenergiaa hukkaan, jolloin myös kustannukset nousevat turhaan. ZR145-kompressorin yhden tuotetun ilmakeuution hinta on lähes kaksinkertainen verrattuna muihin kompressoreihin.

Taulukko 8. Kompressorin ZR145 yhteenveto.

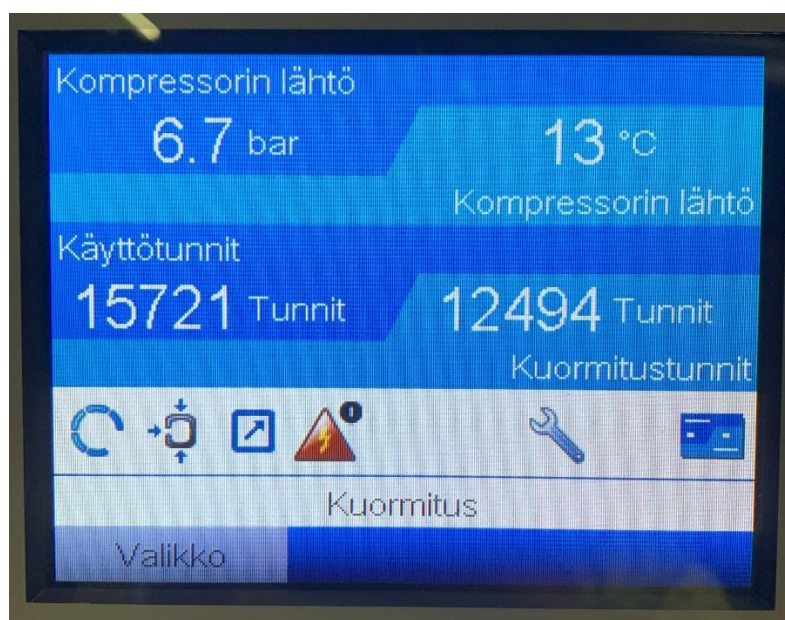
KOMPR.3 Paineilmakeskus Atlas Copco ZR145	
Vuosittainen Huoltokustannushinta	2625 €
KOMPR.3 ZR145 Kuormatunnit	1072 h
KOMPR.3 ZR145 Kevennystunnit	4151 h
Ilmantuotto max.	1416 m ³ /h
Sähköenergiakulu/tunti	147 kWh

ZR145-kompressorin yhden ilmakeuution hinta on laskettuna melkein kaksinkertainen verrattuna muihin laitoksen kompressoreihin. Suuri kuutiohintaa johtuu vähäisestä tuotantomäärästä ja suuresta määrästä kevennystunteja. Kevennystunneilla kone ei ole tuottanut mitään, mutta on kuluttanut sähköenergiaa hukkaan.

Taulukko 9. Kompressorin ZR145 kustannukset.

KOMPR.3 Paineilmakeskus Atlas Copco ZR145 Laskenta	
Ajanjaksolla kulutetun kuorma energian hinta €	$1072 \text{ h} * 147 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 4097,18 €
Ajanjaksolla kulutetun kevennys energian hinta €	$4151 \text{ h} * 40 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 4317,04 €
Ajanjaksolla tuotettu ilmamäärä m ³	$1072 \text{ h} * 1416 \text{ m}^3/\text{h}$ = 1517952 m ³
Yhden ilmakeuution hinta m ³ /€	$(4097,18 \text{ €} + 4317,04 + 2625 \text{ €}) / 1517952 \text{ m}^3$ = 0,0072724 m ³ /€

ZR160-kompressorin on työn kannalta haastavin kompressor, koska siitä ei ole saatavissa infojärjestelmän dataa. Työssä on tehty arvio kuorma- ja kevennystunneista kokonaiskäynti- ja kokonaiskuormatuntien pohjalta. Nämä tunnit ovat kirjattu ylös kompressorissa olevasta monitorista.



Kuva 6. ZR160-monitori.

Arvio perustuu keskimääräisyyteen 21,5 kk ajanjaksolta, ja työtä varten ajanjakso on laskettu kuukausituntien avulla samaan kuin muiden kompressoreiden tarkastelu ajanjakso on. Keskiarvollinen tarkastelu tällä tavalla tuo pienen heiton realistiseen lukemaan, joten tuloksen oikeellisuutta voi vain arvioida. Heitto tulokseen syntyy vuodenaikojen mukaan. Lämpimällä kesäkaudella laitoksessa ei ole samankaltaista tarvetta paineilman tuotannolle kuin esimerkiksi laitoksen käydessä talven pakkasilla. Talvella lämmön ja sähköntuotannon määrä on pienempi kuin kesällä.

Taulukko 10. Kompressorin ZR160 yhteenveto.

KOMPR.4 Paineilmakeskus Atlas Copco ZR160	
Vuosittainen Huoltokustannushinta	4120 €
KOMPR.3 ZR145 Kuormatunnit	4684 h
KOMPR.3 ZR145 Kevennystunnit	1231 h
Ilmantuotto max.	1698 m ³ /h
Sähköenergiakulu/tunti	164 kWh

Taulukko 11. Kompressorin ZR160 kustannukset.

KOMPR.4 Paineilmakeskus Atlas Copco ZR160 Laskenta	
Ajanjaksolla kulutetun kuorma energian hinta €	$4684 \text{ h} * 164 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 19972,58 €
Ajanjaksolla kulutetun kevennys energian hinta €	$1231 \text{ h} * 45 \text{ kWh} * 0,026 \text{ €}$ = 1441,44 €
Ajanjaksolla tuotettu ilmamäärä m ³	$4684 \text{ h} * 1698 \text{ m}^3/\text{h}$ = 7953432 m ³
Yhden ilmakehän hinta m ³ /€	$(19972,58 \text{ €} + 1441,44 \text{ €} + 4120 \text{ €}) / 7953432 \text{ m}^3$ = 0,0032104 m ³ /€

5.3 Monipolttolaitoksen paineilmakeskus

Monipolttolaitoksen paineilmakeskus palvelee pääasiassa uuden CHP-laitoksen tarpeita, mutta järjestelmästä on mahdollista ajaa paineilmaa vanhalle laitosalueelle tarpeen mukaan. Paineilmakeskuksessa toimii kaksi Hertz Frecon 250P paineilmakompressoria ja hankinnassa on lisäksi yksi Atlas Copcon ZR250-kompressori. Hertz Frecon 250P sisältää myös VSD-taajuusmuuttajan, joten käyntidataa voidaan arvioida keskiarvallisesti. Muita huomioitavia eroavaisuuksia koneiden tarkasteluun tuo kaksi eri konevalmistajaa, vaikka kompressoreiden teknisessä toteutuksessa ei ole suuria eroavaisuuksia. Hertz Frecon 250P toimii sähkömоторilla ja tuottaa paineilmaa ruuvipuristustekniikalla.

NA4-paineilmakeskuksen kompressoreista ei ole saatavissa infojärjestelmän mittausdataa. Laitoksen paineilman kulutuksesta haluttiin kuitenkin kerätä tietoja tulevaisuuden kannalta, joten toiseen Hertz Frecon 250P kompressorin omaa seuranta dataa kerättiin arviointia varten ylös. Datan avulla voidaan arvioidaan NA4-yksikön paineilman tuottoa ja kulutusta keskimääräisesti.

Taulukko 12. Frecon 250P mittausdata.

NA4 Hertz Frecon 250P otanta ajanjaksolta 24.02.2020-14.04.2020	
Kuormatunnit	979 h
Kulutettu sähköenergia	125793 kW
Tuotettu ilmamäärä	1364602,5 m ³
KA kulutus/h	125793 kW / 979h = 128,5 kW
Ajanjaksolla kulutetun energian hinta	125793 kW * 0,026 €/kw = 3270,60 €

Kompressorin oma datajärjestelmä kerää tietoa jatkuvasti laitteen toiminnasta ja yllä olevassa taulukossa on 50 vuorokauden ajanjaksolta saadut tulokset. Tuntien ja kulutetun energian perusteella kompressori kuluttaa keskimääräisesti 128,5 kilowattia tunnissa. Maksimikulutus on Frecon 250P kompressorilla 250 kilowattia tunnissa, mutta VSD-ohjaus tuottaa ja kuluttaa tasaisemmin kuin piikkituottoinen järjestelmä.

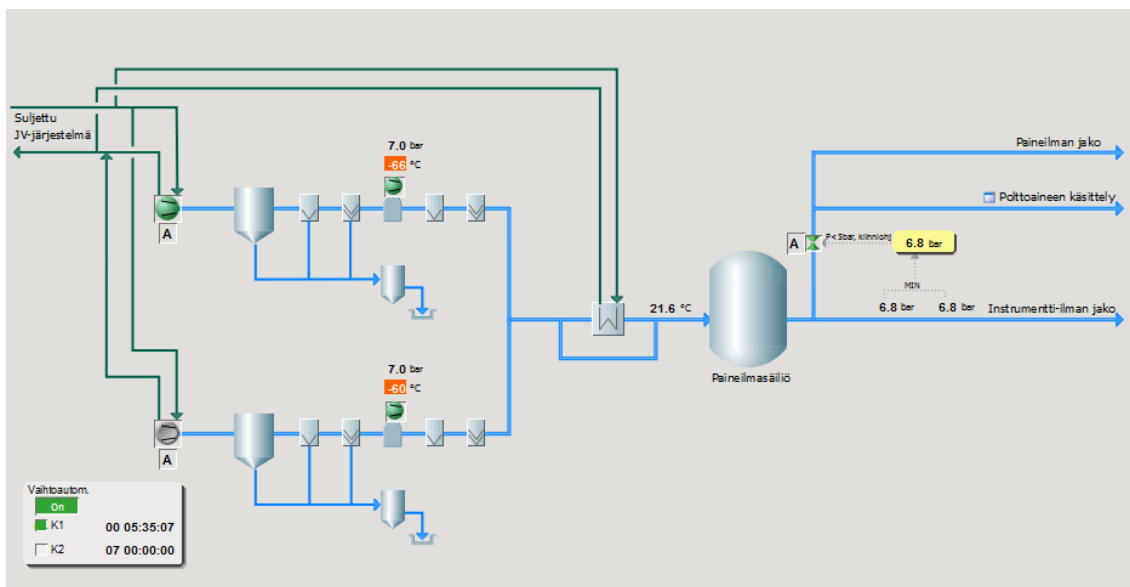
Kompressorin huoltohintaa on saatavissa Sarlin Oy:n huoltotarjouksesta. Huoltoon sisältyi 3000 tunnin perushuolto sekä kahden vuoden välein suoritettava adsorptiokuivaimen huolto. Mittausajanjakso on 50 vuorokautta, joten huoltohinnan käsittelyssä otettiin huomioon lyhyempi ajanjakso. Yhteensä huoltohintaa on kokonaisuudessaan 4494 €, mutta ajanjakson huollon keskihinnaksi muodostuu 380,20 €. Hinnassa on huomioitu adsorptiokuivaimen huollon pidempi huoltoväli sekä keskimääräinen vuorokausihinta 50 vuorokaudelle.

Taulukossa 12 on laskettu kulutetun energian hinta, ja hinnaksi muodostui ajanjaksolla 3270 €. Energianhinnan ja huoltohinnan perusteella on arvioitu yhden tuotetun ilmakuitin hintaa. Lopullinen hinta-arvio on laskettuna alla olevassa taulukossa 13.

Taulukko 13. Frecon 250P 2 kustannukset.

Hertz Frecon 250P 2 kustannukset	
Kokonaiskustannus	3270 € + 380 € = 3650 €
m ³ /hinta	3650 € / 1364602,5 m ³ = 0,002675 €/m ³

NA4-laitokselta työssä otettiin huomioon vain toinen paineilmakompressor, joten todellinen paineilman kulutus ei selviä tällä laskelmalla. Todellisen kulun selvittäminen vaatisi tarkemman mittalaitteiston asennusta sekä kompressorin seurantamahdollisuutta. Kuvassa 4 (alla) näkyvässä infojärjestelmästä otetusta kuvasta näkyy valmiina oleva yksinkertainen kuvaus NA4-paineilmajärjestelmästä, jossa näkyy tuotantojärjestelmä, sekä suurimmat kulutuskohdat. Mittalaitteiden asennus ja kytkentä tähän infojärjestelmään voisi olla tulevaisuudessa kannattavaa kompressorien seurannan kannalta.



Kuva 7. NA4-laitoksen järjestelmäkaavio voimalaitoksen infojärjestelmästä.

NA4-laitokselle on tulossa yksi uusi paineilmakompressori. Kompressoriksi on valittu Atlas Copcon ZR250-kompressori, joka on öljytön ruuvikompressori. Kompressori kytetään laitoksen olemassa olevaan jakeluverkkoon. ZR250-kompressorista on tarkoitus tulla NA4-laitoksen pääilmakompressori.

5.4 Kompressorien käynnin vertailu NA3-laitoksen käyntiin

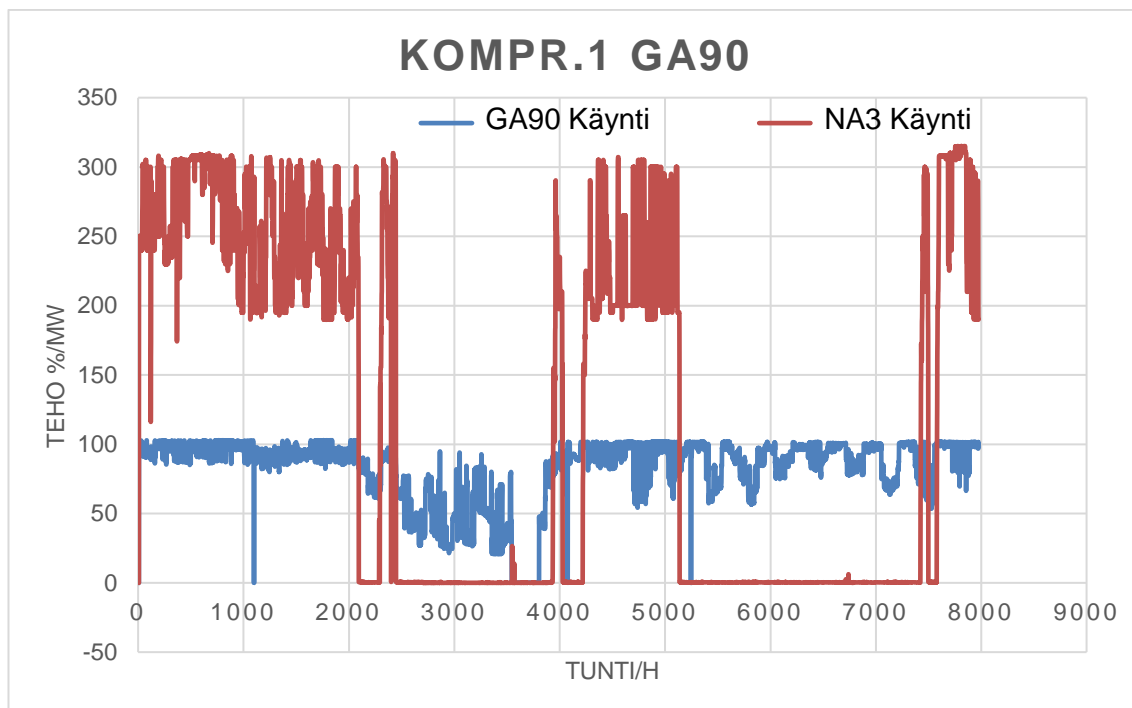
Paineilman kulutuspiikkien tulisi osua ajankohtaan, jolloin jokin laitousyksiköistä käy. Laitoksen käydessä toimintoja on enemmän käynnissä, joten kulutustason pitäisi nousta huomattavasti. Työssä on otettu huomioon NA3-laitoksen ja kompressorien käyntitason vertailu. Laitoksista valikoitui NA3-yksikkö, koska NA1 ja NA2 ovat vähemmällä käytöllä sekä niiden käyttö tullaan lopettamaan seuraavan vuoden aikana. Vertailua ei pystytty toteuttamaan kaikista kompressoreista datan puutteen vuoksi. Vertailussa on mukana rikinpoistolaitoksen GA90-kompressorit ja paineilmakeksuksen GA160- ja ZR145-kompressorit. Vertailu herätti monia jatkokysymyksiä paineilman kulutuksesta, mutta kaikkiin epäkohtiin ei saada vastausta työn aikana. Alkuperäinen vertailu on tehty infojärjestelmän datan pohjalta MS Excelliin ja havainnollistaminen tapahtuu viivakaavion avulla. Työssä on käytetty viivakaaviosta kahta erilaista mallia käyntitasoerojen vuoksi.

Rikinpoistolaitoksen kompressorien käyntitieto on saatavissa infojärjestelmästä, joten viivakaaviossa on otettu huomioon infojärjestelmästä määritetty ajanjakso tunteina,

kompressorin käynti prosentteina ja laitousyksikön käynti megawatteina. Rikinpoistolaitoksen kompressorit on varustettu VSD-taajusmuuntajilla, joten kompressorin käyntitaso nousee ja laskee tasaisesti tarpeen muuttuessa. Laitoksen kompressorien käynti tulisi osua yhtäjaksoisesti NA3 käynnin kanssa, koska laitoksen tarkoitus on poistaa NA3-laitoksen kivihiilen poltosta syntyviä päästöjä.

Paineilmakeskuksen kompressorit ovat täyden kuormituksen koneita ja käyvät asettelulla päälle/pois. Datan käsittelyn ongelmaksi muodostui se ettei mittalaitteet kykene erottelemaan kuorma ja kevennyskäyntiä toisistaan. Laskennassa on lopulta päätetty ottaa huomioon kokonaistunnit. Kokonaistunnit koostuvat koneen kaikista käyttötunneista johon kuuluu kuorma- ja kevennystunnit. Viivakaavio on asetettu samaan akseliin kuin käsiteltävä data, joten 0=pois ja 1=päälle.

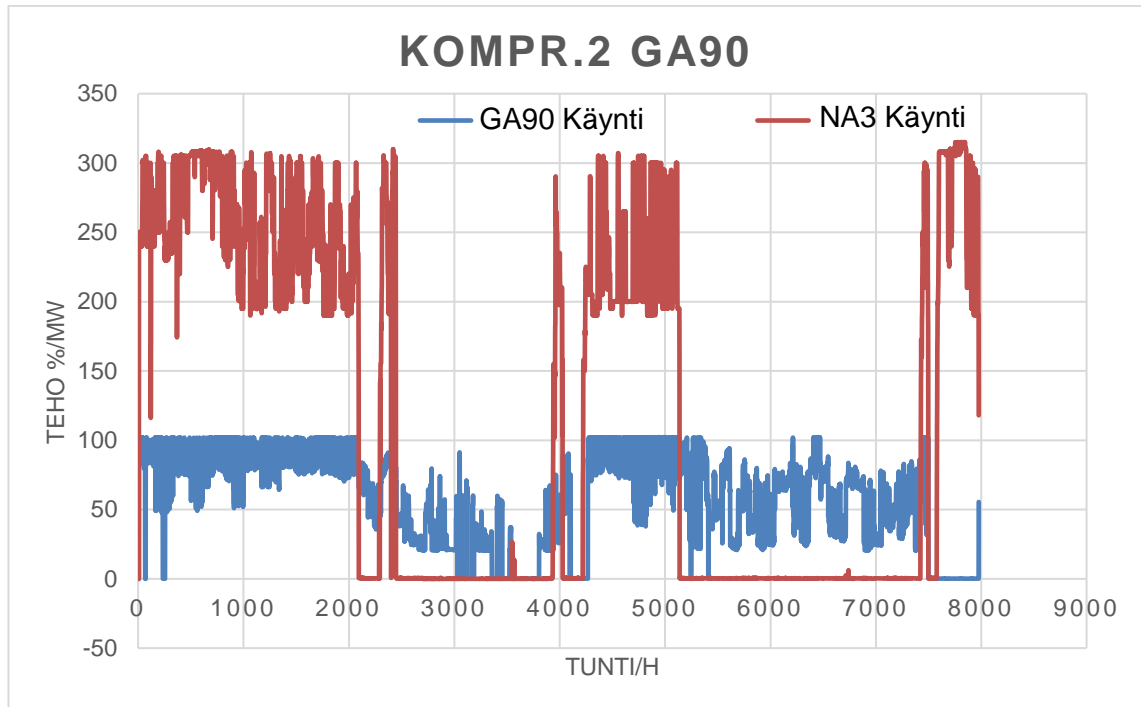
Rikinpoistolaitoksen ensimmäisessä GA90-kompressorissa on selkeästi näkyvissä suhteellisen tasainen kokoaikainen käynti. Huomattava ongelma on kuitenkin nähtävissä kun laitos ajetaan pois päältä, tällöin kompressorin jatkaa paineilman tuottoa. Microsoft Excelissä suoritettua laskennan avulla selvisi että kompressorin käyntiaika on 54,25 % NA3-yksikön käyntiajan ulkopuolella. Kompressorin käynti infojärjestelmän datan mukaan yhteensä 7672 tuntia. Prosentit muunnettuna vertailukelpoiseksi ajotunneiksi infojärjestelmän tuntimäärästä tarkoittaa yhteensä noin 4162 tuntia.



Kuvio 1. Kompressorin 1 GA90:n ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.

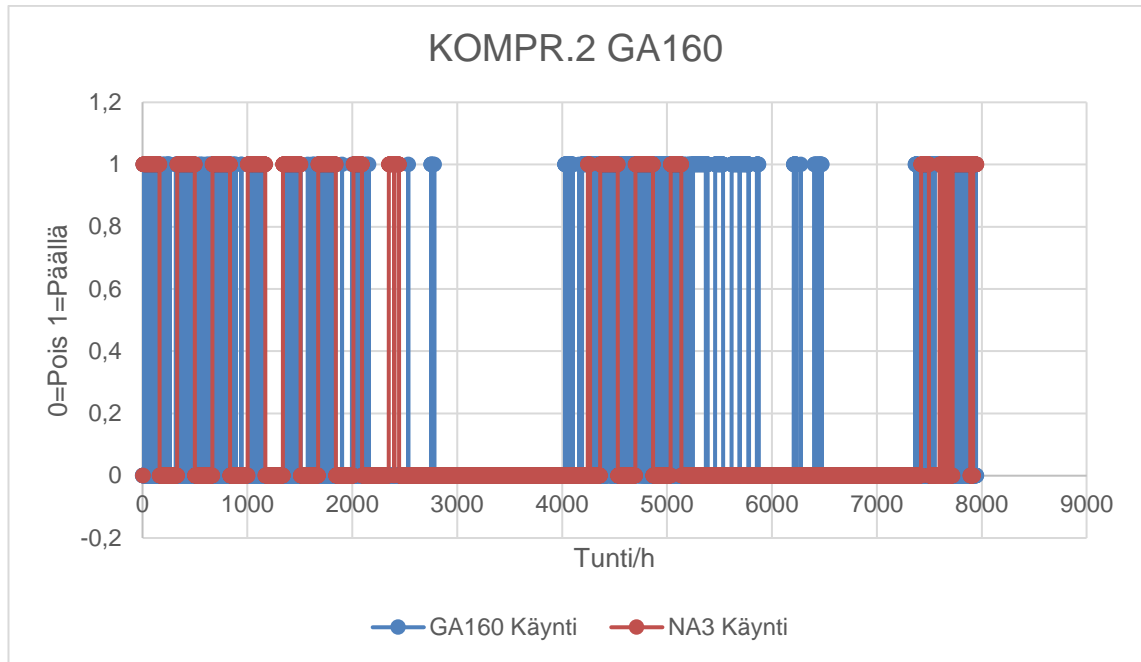
Rikinpoistolaitos ilmaistiin toimeksiannossa suureksi paineilman kuluttajaksi. Seuraamalla yllä olevan kaavion alemmalla tasolla kulkevaa käyrää voi todeta kompressorin käyvän myös laitoksen hiljaisella ajalla. Kaavion 1 käyrästä todistaa toimeksiannon epäilyn vahvasti todeksi. Rikinpoistolaitos käyttää paineilmaa huomattavia määriä niin sanottuna hiljaisena aikana, jolloin laitos ei käy. Suuri tuotannon määrä tarkoittaa samassa suhteessa suurta energia- ja taloudellistakulua. Kulutus osuu laitoksen tuotannon nolla kohtaan, eli laitousyksikkö ei taloudellisesti tuota mitään.

Rikinpoistolaitoksen toisessa GA90-sarjan kompressorin käynnissä on havaittavissa saman kaltainen ongelma kuin ensimmäisessä kompressorissa. Kompressorin käy, vaikka laitos ei käy. Laskennallisesti kompressorin on käynyt 61,5% ajasta NA3-yksikön ajoajan ulkopuolella. 61,5% on tunteina noin 4163 tuntia ja taloudelliselta näkökannalta hirveä lukema. NA3 käynnin ulkopuolisella ajanjaksolla on selvästi nähtävissä käyntitason laskevan normaalista, mutta paineilman kulutus pysyy niin korkealla tasolla että kompressorin joutuu käymään yli 50% käyntitasolla.



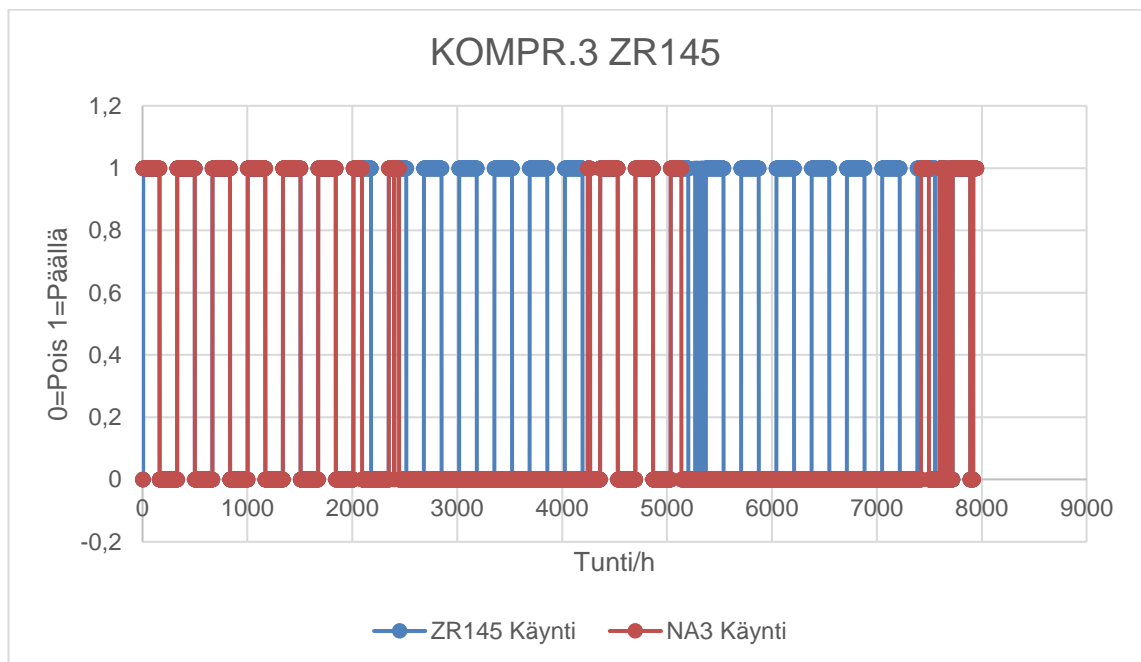
Kuvio 2. Kompressori 2 GA90:n ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.

Vanhan laitoksen GA160-kompressori on käynyt kokonaisuudessaan 6478 tuntia, ja tunteista 13,4 % ajoittuu NA3-käynnin ulkopuolelle. Kokonaistunneista 13,4 % tunteina on yhteensä 868 tuntia. Suurin yhtenäinen hukkajakso on näkyvissä GA160-kompressorin vertailukaaviossa 5000 tunnin jälkeen, mutta ylimääräistä käyntiä on nähtävissä myös 4000 tunnin kohdalla. Kompressorin todellista kulutusta aikaikkunan ulkopuolella ei voida laskea, koska kompressorissa olevat anturit eivät erottele kuorma ja kevennyskäyntiä toisistaan.



Kuvio 3. Kompressorin GA160 ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.

ZR145-kompressorissa todettiin aikaisemmalla selvitystyöllä ongelma kevennyskäynnin määrässä. Kompressorin vertailussa NA3-käyntiin selvisi lisää tietoa ajojärjestelyn ongelmasta. Käyttötunneista 36,8 % on kertynyt NA3-käyntiajan ulkopuolella. Kokonaiskäyntitunteja on 5223 tuntia ja ulkopuolisia tunteja näistä on 1922 tuntia.



Kuvio 4. Kompressorin ZR145 ja NA3-laitoksen käyntitasovertailu.

ZR145-kompressorin kokonaiskäyntiaika on 5523, joista 1072 tuntia on ollut kuormatunteja. NA3 tuotannon ulkopuolisia tunteja on 1922 tuntia. Tuntimäärien perusteella ZR145 on käynyt huomattavasti kevennyskäyntiä tuotantoajan ulkopuolella ja kuluttanut samalla energiaa hukkaan.

6 YHTEENVETO

Taloudellisessa yhteenvedossa on otettu huomioon jokaisen kompressorin tuottama kustannus. Kustannuksia syntyy kompressoreiden huoltamisesta sekä paineilman tuottamiseen kuluva sähköenergiasta. Huoltokustannusten huomioon ottaminen on yksinkertaista voimalaitoksen ulkoistetun huoltosopimuksen ansiosta. Sopimuksessa on eritelty laajasti huollettavat ja vaihdettavat kohteet. Työssä on esitetty huoltohinnat kompressorikohtaisesti kokonaishintana, mutta Frecon 250P -kompressoreja ei voi ottaa täydellisesti vertailuun lyhyemmän ajanjakson vuoksi. Energiankulutus on laskettu jokaisen kompressorin tuntikohtaisesta käynnin määrästä ja perustuu laskennalliseen arvioon. Tuntikohtainen käyntitaso on saatu voimalaitoksen infojärjestelmästä sekä kompressorien omasta datankeruu järjestelmästä.

Taulukko 14. Kustannusten yhteenveto.

Kompressorin merkki ja malli	Huoltohint	Energiakulu
Atlas Copco GA90 1	6180 €	12901 €
Atlas Copco GA90 2	6180 €	7741 €
Atlas Copco GA160	8000 €	18216 €
Atlas Copco ZR145	2625 €	8414 €
Atlas Copco ZR160	4120 €	21414 €
Hertz Frecon 250P 1	Ei laskettu	Ei laskettu
Hertz Frecon 250P 2 (lyhyempi ajanjakso 50vrk)	380 €	3270 €
Yhteensä :	35 335 €	71 956 €

Kompressoreiden kokonaiskustannushinnaksi muodostuu laskelmalla 107 291 €. Kokonaiskustannuksessa tulee ottaa huomioon N4-laitoksen kompressoreiden puuttellisuus. Kompressoreista on laskettu ainoastaan toinen 50 vuorokauden ajanjaksolta. Vuodessa on 365 vuorokautta, joten 50 vuorokauden otanta on koko vuodesta noin 14%. Kulutustason pysyessä samana koko vuoden energiakustannus olisi laskettuna yhteensä 26 240 € ja huoltokustannukset 4500 €. Molempien kompressorien käydessä

samankaltaisesti sähköenergian kustannus nousisi huomattavasti, mutta kompressoreiden jatkuva yhtäaikainen käynti on epätodennäköistä.

Yhtenä työn tavoitteena oli tuottaa paineilmakompressoreista yhden tuotetun paineilma-kuution hinta. Kuution hinta on tuotetusta materiaalista vertailukelpoisinta toisiinsa nähden, vaikka ajanjaksossa on poikkeumia. Kuutiohinnasta on mahdollista arvioida kompressorin hyötysuhdetta. Alla olevasta taulukosta 15 on nähtävissä kompressorien eroja tuottohinnassa. Atlas Copco ZR145 näyttää tilastoissa suhteellisen kalliilta verrattaen muihin. Suuri ero syntyy kuormatuntien vähästä määrästä.

Taulukko 15. Kuutiohinnan yhteenveto.

Kompressorin merkki ja malli	Kuutiohinta
Atlas Copco GA90	0,0034338 €
Atlas Copco GA90	0,0041743 €
Atlas Copco GA160	0,0040530 €
Atlas Copco ZR145	0,0072724 €
Atlas Copco ZR160	0,0032104 €
Hertz Frecon 250P 1	Ei laskettu
Hertz Frecon 250P 2	0,0026752 €

Ratkaisuna kompressorien kovalle kulutustasolle pitäisi tehdä laajempi läpikäynti kulu- tuskohteista ja vuotopaikoista. Kulutuskohteissa tulisi selvittää, onko kyseisen kohteen paineilman tarve todellisuudessa niin suuri kuin tämän hetkinen käyttö kuluttaa. Rikin- poistolaitos on selkeä kulutuskohde, jossa paineilmaa käytetään liikaa rikinpoistolaitok- sen käyttöön nähden. Vanhan laitosalueen jakelujärjestelmä tulisi käydä tarkasti läpi ja puutua vuotopaikkoihin aktiivisesti. Vuotopaikan korjaaminen on kustannuksena suh- teessa pieni mahdolliseen pidemmän suunnitelman säästöön verrattaessa. Jakelujärjes- telmään on mahdollista myös asentaa yksinkertaisia antureita seuraamaan paineilman kulutusta. Antureilla olisi mahdollista määrittää tarkemmin kulutuskohde tai vuotopaikka.

Ajojärjestelyssä on nähtävissä selkeitä ongelmia koneiden käynnistymisjärjestyksessä. Esimerkiksi ZR145-kompressorin on käynyt huomattavan paljon kevennyskäynnillä info- järjestelmän mukaan. Ylimääräinen kevennyskäynti pitää saada kompressoreilta mini- miin. Ajojärjestelyyn pitää saada selkeyttä siitä, mikä kone käynnistyy ensimmäisenä verkkopaineen pudotessa rittävän alas. Laskelmien perusteella ZR145 on ongelmallisin

kompressorit tällaisella ajojärjestelyllä. Kuutiohintalaskennan mukaan öljyllisillä kompressoreilla kuutiohintaa on kevyesti korkeampi kuin öljyttömällä. Öljyllisten kompressorien kuutiohintaa nostaa korkeammat huoltokustannukset. Vanhan laitoksen paineilmakeskuksen kompressoreista toimivimmalta vaikuttaa ZR160-kompressorit.

NA4-laitoksen tilanteeseen on hankala ottaa kantaa, koska laitokselle asennetaan uusi Atlas Copco ZR250-kompressorit, jolloin toiminnassa olleet Frecon 250P kompressorit jäävät suorittamaan varakompressorin virkaa. Frecon 250P 2 kompressorin kuutiohintaa on laskennallisesti edullinen. Edullisen kuutiohinnan vuoksi voisi olla järkevää tuottaa paineilmaa NA4-laitoksella ja ajaa se järjestelmää pitkin vanhalla laitosalueella. Tehokkaammalla kompressorilla voisi korvata vanhan laitosalueen piikkisellä käynnillä olevan kompressorin, jolloin päästäisiin samaan tuotannon määrään matalammalla energiakululla pitkällä ajanjaksolla.

LÄHTEET

Atlas Copco. Kompessorit, paineilmalaitteet ja kattavat huoltopalvelut. Viitattu 08.03.2020 <https://www.atlascopco.com/fi-fi/compressors>.

Ellman, A.; Hautanen, J.; Järvinen, K. ja Simpura, A. 2002. Pneumatiikka. Helsinki: Edita Prima Oy.

Heikkilä, M. 2017. Naantalin voimalla – kertomuksia Naantalin voimalaitokselta 60 vuoden ajalta. Newprint Oy.

Hertz. Frecon Plus series. Viitattu 08.03.2020 <https://www.hertz-kompressoren.com/product/frecon-plus-series>.

Hulkkonen, V. 2005. Pneumatiikan perusteita. Viitattu 12.03.2020 <https://www.sal-hydro.fi/files/PDF/9.pneumatiikan-perusteita.pdf>.

Sarlin Oy a 2020. Paineilman laatu ISO 8573-1:2010 standardin mukaan. Viitattu 12.04.2020 <https://www.sarlin.com/ty%C3%B6kalupakki/paineilmatietoutta/iso-8573-1-paineilman-laatustandardi/>.

Sarlin Oy b 2020. Paineilmavuodon hinta. Viitattu 13.05.2020 <https://www.sarlin.com/ty%C3%B6kalupakki/paineilman-laskimet/vuodon-hinta/>.

Tilastokeskus 2018. Teollisuuden energiankäyttö 2017. Viitattu 11.04.2020 https://www.stat.fi/til/tene/2017/tene_2017_2018-11-19_fi.pdf.

TSE Turun seudun energiantuotanto Oy a 2020. Laitosten esittely. Viitattu 18.03.2020 <https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/laitoksen-esittely/>.

TSE Turun seudun energiantuotanto Oy b 2020. Tuotannon kehittäminen. Viitattu 18.03.2020 <https://www.tset.fi/tuotanto-ja-operointi/tuotannon-kehittaminen/>.

Turku Energia Oy a 2020. Kaukolämmön tuotanto ja alkuperä. Viitattu 18.03.2020 <https://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/kaukolammon-alkupera-ja-ymparistovaikutukset/>.

Turku Energia Oy b 2020. Kaukolämmön tuotantolaitokset. Viitattu 18.03.2020 <https://www.turkuenergia.fi/kaukolampo-ja-jaahdytys/kaukolampo-kestavin-valinta/kaukolammon-alkupera-ja-ymparistovaikutukset/kaukolammon-tuotantolaitokset/>.

Turun kaupunginvaltuusto 2018. Ilmastosuunnitelma 2029 – Turun kaupungin kestävä ilmasto- ja energiatoimintasuunnitelma 2029. Viitattu 11.04.2020 https://www.turku.fi/sites/default/files/atoms/files/ilmastosuunnitelma_2029.pdf.

Valmet DNA Report -infojärjestelmä Naantalin voimalaitoksella 2019.

Valmet DNA Report (2020). Viitattu 13.04.2020 <https://www.valmet.com/automation/control-systems/valmet-dna/information-management/valmet-dna-report/>.